N° d'Ordre : 86
Série : U

THÈSES

PRÉSENTÉES

à la Faculté des Sciences de l'Université de Strasbourg

POUR OBTENIR

le Titre de Docteur de l'Université de Strasbourg

Mention : SCIENCES

PAR

S. NIKITINE

Licencié ès-Sciences

PREMIÈRE THÈSE

Réalisation du corps noir au point de fusion du palladium

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

Soutenues le 30 OCTO 1931 *1931 devant la Commission d'Examen :*

MM. P. WEISS, *Président*
H. OLLIVIER
G. RIBAUD } *Examinateurs*

1931

N° d'Ordre : 86
Série : U

THÈSES

PRÉSENTÉES

à la Faculté des Sciences de l'Université de Strasbourg

POUR OBTENIR

le Titre de Docteur de l'Université de Strasbourg

Mention : SCIENCES

PAR

S. NIKITINE

Licencié ès-Sciences

PREMIÈRE THÈSE

Réalisation du corps noir au point de fusion du palladium

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

Soutenues le 30 OCTO 1931 *1931 devant la Commission d'Examen :*

MM. P. WEISS, *Président*
H. OLLIVIER, G. RIBAUD } *Examinateurs*

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

Doyen ..... E. ROTHÉ, Professeur de Physique du Globe.

Doyens honoraires..... E. BATAILLON, P.-Th. MULLER.

Professeurs honoraires. FRÉCHET, G. FRIEDEL, GAULT, GIGNOUX, H. VILLAT.

Professeurs	G. VALIRON.....	Analyse supérieure.
	P. WEISS.....	Physique générale.
	H. OLLIVIER.....	Physique générale.
	L. HACKSPILL.....	Chimie minérale.
	E. TOPSENT.....	Zoologie et anatomie comparée.
	C. HOUARD.....	Botanique.
	E. TERROINE.....	Physiologie générale.
	J. DE LAPPARENT.....	Minéralogie et Pétrographie.
	E. CHATTON.....	Biologie générale.
	R. THIRY.....	Mécanique.
	G. CERF.....	Calcul différentiel et intégral.
	G. DUBOIS.....	Géologie et Paléontologie.
	G. RIBAUD.....	Physique expérimentale.
	P. FLAMANT.....	Mathématiques générales.
	E. CORNEC.....	Chimie générale.
	M. FAILLEBIN.....	Chimie organique.
	P. DE BEAUCHAMP.....	Biologie générale.
	L. BOUNOURE.....	Zoologie.
	G. FOEX.....	Physique générale.
	H. CHERMEZON.....	Botanique.
	G. REMPP.....	Physique du Globe.
	R. ROMANN.....	Chimie physique et Electrochimie.
	J. LACOSTE.....	Physique du Globe.
	H. MILLOUX.....	Mathématiques.
	N.....	Astronomie.

Chargés de cours et Maîtres de conférences.	Ch. STAEHLING.....	Chimie appliquée.
	G. HUGEL.....	Chimie du Pétrole.
	H. WEISS.....	Physico-chimie du Pétrole.
	A. ROUSSEL.....	Mathématiques générales.
	P. SOLEILLET.....	Physique mathématique.
	R. BONNET.....	Physique et chimie biologiques.
	G. MIGNONAC.....	Chimie appliquée.
	N.....	Minéralogie.
	N.....	Botanique.

Secrétaire..... G. CUVIER.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

A mon Père

A Monsieur RIBAUD,

Professeur à la Faculté des Sciences
de l'Université de Strasbourg.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548008_0008

CORPS NOIR AU POINT DE FUSION DU PALLADIUM. ÉTUDE COMPARATIVE DE LA MÉTHODE DU TUBE ET DE LA MÉTHODE DU FIL.

par S. NIKITINE.

Sommaire. — Une étude de la réalisation du corps noir au point de fusion du palladium ayant été faite antérieurement par la méthode du tube, le présent travail a pour but la comparaison de cette dernière méthode avec la méthode du fil.

Une discussion étendue de la méthode du fil est faite. Cette discussion conduit à adopter une enceinte de dimensions petites (ne comportant qu'une très petite ouverture) et précise la longueur de la zone de température uniforme à réaliser dans le four.

Le four dans lequel une telle enceinte fut réalisée est porté à haute température par un enroulement de molybdène. Il comporte deux parties complètement séparées. L'une très étanche contient l'enroulement de molybdène et est parcourue par un courant d'hydrogène, l'autre peut être remplie d'air ou d'oxygène et contient l'enceinte, le couple thermoélectrique et le palladium.

Toute la partie centrale du four est enveloppée d'une carcasse métallique de molybdène, qui étant toute entière au même potentiel élimine les courants parasites provenant de l'enroulement chauffant. Ce four a servi 300 heures à haute température et reste encore en service en parfait état.

Les fusions ont été effectuées dans des conditions très variées. La précision des mesures s'est trouvée être de $\pm$ 0°,9.

Toutes les mesures optiques ont été effectuées avec le même pyromètre qui a servi dans la méthode du tube. Les deux méthodes se sont montrées concordantes à 0°,1 près, précision qui justifie l'emploi de la méthode du tube pour le palladium, à condition d'exercer des tractions mécaniques fortes ($\sim$ 4 g. mm^{-2}) sur le tube On sait que pour des tractions inférieures à 1,6 g. mm^{-2} les tubes de palladium se coupent 9° plus haut.

La comparaison du pyromètre ayant servi aux mesures avec le pyromètre étalon du Laboratoire de Pyrométrie de la Fondation Edmond de Rothschild a donné pour la température de fusion du palladium 1830°K. Nous ne donnons ce nombre qu'à titre d'indication.

Introduction.

Echelle internationale des températures. — Dans le domaine des hautes températures, le seul point étalon fixé par les thermomètres à gaz (*) et adopté est le point de fusion de l'or, sur lequel on est actuellement d'accord à mieux que 1° près et qu'on prend égal à 1 336°K.

La septième conférence des poids et mesures a convenu ([2]) de définir dans l'échelle pratique les températures supérieures au point de fusion de l'or comme reliées aux brillances du corps noir par l'équation.

$$\log_n \frac{b^0{}_{\lambda T}}{b^0{}_{\lambda} T_{Au}} = \frac{C_2}{\lambda}\left[\frac{1}{1336} - \frac{1}{T}\right]$$

où $b^0{}_{\lambda T}$ est la brillance monochromatique du corps noir pour la longueur d'onde λ et à la température T, $C_2 = 1{,}4320$ cm-degrés et à condition que $\lambda T < 0{,}3$ cm-degrés.

(*) En ce qui concerne les mesures au thermomètre à gaz, voir par exemple le mémoire bien connu de Day et Sosman ([1]).

Il est de très grande importance d'établir, dans cette échelle optique, des températures repères, pour la concrétiser et permettre une comparaison facile d'échelles établies dans différents laboratoires, pour étalonner et contrôler l'étalonnage d'appareils de mesures, etc. On a pris dans ce domaine comme températures étalons celles de l'équilibre entre les phases solide et liquide pour le palladium et le platine.

Dans la détermination de ces températures étalons en dehors des difficultés habituelles des mesures pyrométriques optiques, intervient encore le problème de la réalisation d'un corps noir qui soit exactement à la température du métal en fusion.

Plusieurs solutions de ce problème ont été proposées.

Méthode du Creuset (*). — On peut plonger une petite enceinte réfractaire dans un bain de métal en fusion et se servir de son rayonnement pour la mesure de la température à la fusion ou à la solidification du métal. Toutefois il a été montré (6) que dans ces conditions les parois rayonnantes de l'enceinte ont une tendance à être plus froides que le bain métallique, à cause de l'apport d'énergie qui se fait du métal au radiateur à travers le réfractaire.

Méthode du fil. — Une autre méthode consiste à prendre une petite quantité de métal sous forme de fil, par exemple, et la fondre dans une grande enceinte réalisant les conditions du corps noir. Cette méthode sera discutée en détail dans la suite.

Méthode du tube. — Enfin *Ives* (7) réalisa des radiateurs en platine dont le rayonnement devait se rapprocher de celui du corps noir. Nous avons été amenés à discuter et à reprendre cette méthode pour le palladium. Les détails et les résultats de cette étude ont été publiés antérieurement (6) (**) et nous nous bornerons à les rappeler très rapidement.

Un tube de palladium très pur ayant 8 cm de longueur, 0,15 cm de diamètre et 0,005 cm d'épaisseur de parois, était soudé à l'une de ses extrémités à un support immobile, à l'autre à un flotteur de poids convenablement calculé, dont une partie plongeait dans du mercure. Le tube était maintenu en position verticale. Chauffé électriquement à l'abri de courants d'air 20° ou 30° au-dessous du point de fusion, on étudiait optiquement la répartition des températures le long d'une génératrice et, au milieu de la région où la température se trouvait être uniforme, on perçait un trou de 0,03 cm de diamètre. Une étude de la température sur la section droite du tube, comprenant le trou, montra que le trou n'introduisait aucune anomalie dans la répartition des températures.

La théorie de cette enceinte montre que pour certaines directions le rayonnement du trou est équivalent, à mieux que 1/500 près, à celui d'un corps noir à la température du métal. Conformément à cette théorie nous avons adopté pour les visées un angle de 12° à 15° avec le plan vertical contenant la normale au centre du trou et un angle de 3° à 4° avec le plan horizontal passant par le centre du trou. Le calcul montre que pour une telle incidence et pour les dimensions que nous avons données au tube, les conditions du cops noir ne sont pas troublées par le dépoli de la surface du métal qui se produit très rapidement au voisinage de la fusion.

Le montage électrique joue un grand rôle dans les mesures. On peut faire le réglage soit de façon que la température du tube monte d'elle-même avec le temps, du fait de l'évaporation très intense du métal, soit de façon qu'elle reste très constante. Soit en laissant la température monter d'elle-même, soit en augmentant progressivement le courant on atteint la fusion qui se traduit par une rupture du tube. On suit, au pyromètre, la montée de la température et par une extrapolation on évalue la température au moment où le tube s'est coupé.

(*) Cette méthode a été proposée par *Blondel* (1), puis par *Waidner* et *Burgess* (4) mais semble avoir été employée la première fois par *Hoffmann* et *Meissner* (5).

(**) Voir aussi *G. Ribaud. Traité de pyrométrie optique. Revue d'Optique*, éditeur.

Les résultats de cette méthode sont très concordants (± 0°,8). Toutefois il nous a paru nécessaire de la contrôler en la comparant à une des méthodes classiques, qui sont relativement faciles à réaliser pour le point de fusion du palladium. Une concordance entre cette méthode et l'une des méthodes classiques une fois établie pour cette température, elle pourra être appliquée à d'autres métaux moins fusibles, dont la température de fusion est difficile à déterminer par les méthodes nécessitant la construction d'un four.

Nous avons réalisé dans ce but un corps noir pour des mesures par la méthode du fil [8]. Cette réalisation diffère très notablement d'un modèle de four antérieur [9] que nous avons abandonné. D'autre part nous avons pris connaissance d'un mémoire récent [10], dans lequel la méthode du fil est critiquée.

Nous reviendrons d'abord sur ces critiques et nous décrirons ensuite avec détails les appareils et les mesures adoptés (*).

I. — Discussion de la méthode du fil.

La méthode du fil consiste à prendre une petite quantité de métal sous forme de fil, par exemple, et de la fondre à l'intérieur d'une enceinte remplissant les conditions du corps noir. La température de fusion du métal est alors reliée à la brillance du corps noir et peut être déterminée au pyromètre. En réalité l'enceinte n'est pas un corps noir théorique et sa température peut ne pas être rigoureusement identique à celle du fil. Nous allons discuter les erreurs qui en résultent et les procédés permettant de les diminuer. Nous donnerons ensuite quelques indications sur la construction des fours eux-mêmes.

Influence de l'ouverture pratiquée dans l'enceinte isotherme. — Un premier défaut, dans la réalisation des conditions du corps noir dans une enceinte expérimentale, provient du fait qu'on est obligé de pratiquer une ouverture de dimensions finies dans l'une de ses parois. Nous allons nous rendre compte de l'ordre de grandeur de l'erreur qui en résulte quand on fait des mesures au pyromètre.

Supposons que l'enceinte est isotherme, portée à la température T. Si nous appelons b_λ la brillance monochromatique pour la longueur d'onde λ de l'enceinte expérimentale à la température T, $b^0{}_{\lambda T}$ la même quantité pour un corps noir, ρ_λ le facteur de réflexion monochromatique, des parois de l'enceinte à la température T, et pour la longueur d'onde λ, ε_λ le pouvoir émissif monochromatique des parois de l'enceinte dans les mêmes conditions et enfin ω l'angle solide sous lequel un point voisin du centre de la paroi de l'enceinte qui est opposée au trou rayonne vers l'extérieur, un calcul classique qui suppose que les parois de l'enceinte obéissent à la loi de Lambert [12] donne :

$$b_\lambda = \varepsilon_\lambda\, b^0{}_{\lambda T} + \rho_\lambda\, b^0{}_{\lambda T} - \rho_\lambda\, b^0{}_{\lambda T}\frac{\omega}{\pi}.$$

Si nous posons $b_\lambda = b^0{}_{\lambda(T+\Delta T)}$, nous pouvons écrire :

$$\frac{\Delta b^0{}_{\lambda T}}{b^0{}_{\lambda T}} = -\rho\,\frac{\omega}{\pi}$$

ou encore

$$\Delta T = -\frac{\lambda T^2}{C_2}\,\rho_\lambda\,\frac{\omega}{\pi} \qquad (1)$$

(*) Nous avons pris connaissance depuis d'un mémoire encore plus récent [11]; dans ce mémoire l'auteur emploie la méthode du fil et la méthode du « cône ». Cette dernière consiste à faire un corps noir de forme conique en palladium, et à le fondre dans un four ordinaire, la fusion se traduisant par l'effondrement du cône. L'écart entre les mesures effectuées est grand (± 5°).

*

où ΔT est la différence entre la température mesurée au pyromètre et la température de l'enceinte. On voit que cette quantité est négative, c'est-à-dire que l'on mesure au pyromètre une température trop faible.

Nous allons discuter maintenant la façon dont il faut réaliser une enceinte pour que ΔT soit petit. Dans la formule (1) interviennent deux facteurs ρ_λ et ω. Le premier dépend des propriétés de la matière qui constitue l'enceinte. Pour l'alumine il est de l'ordre de 0,7 à 0,6 ([13]) dans le rouge et à 1 800°K environ. On ne connaît pas de matière pouvant noircir les parois de l'enceinte et résistant aux hautes températures. L'oxyde de chrome qui fut souvent employé devient volatil à des températures beaucoup plus basses que le point de fusion du palladium et risquerait de salir le métal introduit dans l'enceinte.

On peut diminuer le deuxième facteur. Il est défini par la longueur D de l'enceinte (limitée par la zone d'uniformité des températures dans le four) et par le rayon r de l'ouverture de l'enceinte. Pour rester dans de bonnes conditions de visées pyrométriques, on ne peut pas prendre r trop petit. Le calcul suivant va nous fournir une limite inférieure pour r. Soit p_1 et p_2 respectivement les distances de l'objet et de l'image à l'objectif du pyromètre, $2r$ le diamètre de l'ouverture de l'enceinte et a celui de son image, enfin d le diamètre de l'objectif et α l'ouverture du faisceau sortant du four ; on a les relations suivantes :

$$\alpha > \frac{d}{p_1}$$

et

$$10\, d = p_2 \text{ [14]}.$$

Enfin, pour que les mesures se fassent bien, il importe que l'image de la source soit 4 ou 5 fois plus grande que le diamètre du filament de la lampe tare. Soit donc b le diamètre imposé à l'image par cette condition. Nous avons

$$a = b$$

De ces trois relations nous tirons

$$2r \geqq \frac{b}{10\alpha}. \qquad (2)$$

Dans cette relation b est constant, α est sensiblement le rapport du diamètre du four et de la distance de l'enceinte à l'extrémité du four. Les conditions d'isothermie conduisent à le prendre petit, ne dépassant pas une limite supérieure d'environ 0,07 ; $2r$ est donc limité inférieurement. Il est facile de voir qu'en admettant $b = 0{,}5$ mm et $\alpha \sim 0{,}07$ sa valeur est voisine de 0,8 mm.

D'autre part on peut encore écrire la relation (2) sous la forme

$$2r \geqq \frac{bf}{10d - f} \qquad (2')$$

où f est la distance focale de l'objectif du pyromètre. Ainsi pour une distance focale de l'ordre $f = 20$ cm et un diamètre de l'objectif $d = 3$ cm on trouve $2r \geqq 1$ mm.

Nous voyons donc que $2r$ et D étant limités, le premier inférieurement le deuxième supérieurement, ω est limité inférieurement ; il ne sera pas avantageux de le faire plus petit que 0,003 stéradian. La correction (1) ne sera jamais nulle.

L'ordre de grandeur de ΔT est donné dans le tableau I en fonction des éléments géométriques de différentes enceintes et en posant $\rho_\lambda = 0{,}6$, $\lambda = 0{,}65\ \mu$, $T = 1800°$ K et $C_2 = 1{,}4320$ cm degrés.

Défaut d isothermie radiale sur la paroi visée. — Dans le calcul précédent nous avons supposé que l'enceinte était isotherme. Or une partie de l'enceinte directement opposée au trou rayonne vers l'extérieur du four. L'énergie rayonnée vers l'extérieur est compensée par

un apport d'énergie par conductibilité et rayonnement provenant des parties latérales de l'enceinte, chauffée électriquement, ce qui n'est possible que s'il y a une différence de température entre la partie centrale de la paroi visée et les parois latérales de l'enceinte. Cette différence de température est facile à calculer.

Supposons que l'enceinte soit de forme cylindrique faisant un seul bloc (fig. 1). Reprenons les notations du paragraphe précédent et désignons par $2R$ le diamètre intérieur de l'enceinte et par e l'épaisseur de la paroi opposée au trou.

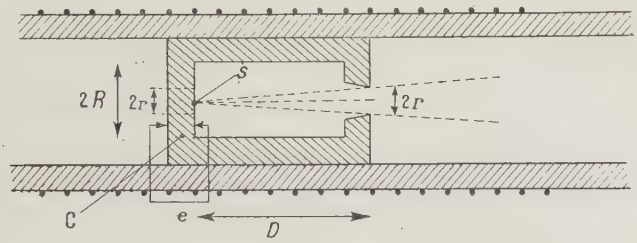

Fig. 1.

On peut admettre que la portion S de la paroi visée C qui rayonne vers l'extérieur est de l'ordre de grandeur de la surface de l'ouverture de l'enceinte et que tous les points de cette surface rayonnent sous un même angle solide ω (*). Supposons que toute l'enceinte sauf C soit à la température $T + \delta T$ et que la portion S de C soit toute entière à la température T. Nous allons calculer δT en posant k le coefficient de conductibilité thermique de la matière constituant l'enceinte, et ε son pouvoir émissif total.

Le régime thermique de S est donné par l'égalité.

$$S\varepsilon \frac{\sigma}{\pi} T^4 \omega = S\varepsilon \frac{\sigma}{\pi} 4T^3 \delta T + 2\pi r e k \frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}r}$$

où $\dfrac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}r}$ est le gradient de température à la limite de la surface S. On montre facilement que

$$\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}t} = \frac{\delta T}{r \log_n \dfrac{R}{r}}$$

alors la réduction de la formule ci-dessus nous donne :

$$\delta T = \frac{\omega}{4\pi} T \left\{ \frac{1}{1 + \dfrac{ke}{2r^2 \varepsilon \sigma T^3 \log_n \dfrac{R}{r}}} \right\} \qquad (3)$$

On voit que pour rendre δT petit il convient de prendre k et e grands et r petit. $\dfrac{R}{r}$ doit être voisin de 3.

Différentes réalisations ont été effectuées dans le but de diminuer δT. On a construit des enceintes métalliques (13). Ces enceintes rendent de très bons services aux basses tem-

(*) En réalité cette surface a un rayon environ 2 ou 1,5 fois plus grand que celle de l'ouverture de l'enceinte, mais tous les points de cette surface ne rayonnent pas sous le même angle solide mais sous des angles décroissants de ω à 0 quand on s'éloigne du centre. La quantité d'énergie rayonnée dans notre hypothèse est donc voisine de celle rayonnée réellement.

pératures, mais au voisinage du point de fusion du palladium, les métaux moins fusibles que le palladium sont déjà très volatils et peuvent salir le métal à fondre. *Schofield* [11] a employé des enceintes en palladium pour déterminer le point de fusion de ce métal. *Fairchild*, *Hoover* et *Peters* [10] ont construit une enceinte à paroi très épaisse. Enfin *Brodhun* et *Hoffmann* [16] ont construit des enceintes de dimensions très petites.

Nous avons rassemblé dans le tableau I les valeurs de δT pour les enceintes, qui ont déjà été étudiées dans le paragraphe précédent en posant $k \sim 0{,}01$ w.cm^{-1} degrés^{-1} et $\varepsilon = 0{,}5$.

Isothermie dans le sens de l'axe du four. — Dans les études précédentes nous avons supposé que le long de l'axe du four l'isothermie était réalisée. Le cas où cette condition serait en défaut n'est en effet pas intéressant, car on peut réaliser l'isothermie axiale avec toute la précision nécessaire.

Le défaut de l'isothermie dans le sens de l'axe du four provient du fait que le tube réfractaire, entouré d'un enroulement ou tube chauffant, chauffé uniformément sur toute sa longueur, perd une certaine quantité d'énergie par ses extrémités, qui sont plus froides.

On peut corriger ce défaut, par exemple, en fournissant une quantité d'énergie supplémentaire aux extrémités du four. Ceci peut être réalisé, pour les fours à enroulement, en resserrant les spires chauffantes davantage aux extrémités qu'au centre du four, ou en ajoutant aux extrémités des enroulements supplémentaires chauffés indépendamment. Pour les fours à tubes chauffants on peut augmenter l'épaisseur du tube au milieu, ce qui diminue la résistance et par conséquent, l'énergie dégagée, en cet endroit [5].

Par ces moyens, après quelques tâtonnements et en étudiant la répartition des températures le long de l'axe du four à l'aide d'un couple thermoélectrique, on arrive à obtenir une répartition uniforme, à quelques dixièmes de degrés près, sur plusieurs centimètres. Le défaut d'isothermie dans le sens de l'axe peut donc être éliminé complètement.

Discussion de la réalisation des conditions du corps noir dans une enceinte expérimentale. — Nous allons calculer quelle est en définitive la différence entre la température qu'on mesure au pyromètre et la température vraie du centre de la paroi C.

Soit T la température mesurée au pyromètre, T_1 la température du centre de la paroi C, $T_1 + \delta T$, la température des parois latérales $b^0{}_\lambda T$, $b^0{}_\lambda T_1$, $b^0{}_{\lambda\,[T_1+\delta T]}$ les brillances monochromatiques du corps noir pour la longueur d'onde λ et la température correspondante, ε_λ et ρ_λ le pouvoir émissif et le facteur de réflexion monochromatiques des parois de l'enceinte. Alors la mesure pyrométrique entraîne l'égalité.

$$b^0{}_\lambda T = \varepsilon_\lambda b^0{}_\lambda T_1 + \rho_\lambda b^0{}_{\lambda\,[T_1+\delta T]} - \rho_\lambda b^0{}_{\lambda\,[T_1+\delta T]} \frac{\omega}{\pi},$$

ou

$$b^0{}_\lambda T = \varepsilon_\lambda b^0{}_\lambda T_1 + \rho_\lambda b^0{}_\lambda T_1 + \rho_\lambda \delta b^0{}_\lambda T_1 - \rho_\lambda b^0{}_\lambda T_1 \frac{\omega}{\pi} - \rho_\lambda \delta b^0{}_\lambda T_1 \frac{\omega}{\pi}.$$

ou encore

$$\frac{\mathrm{d}b^0{}_\lambda T_1}{b^0{}_\lambda T_1} = \frac{b^0{}_\lambda T - b^0{}_\lambda T_1}{b^0{}_\lambda T_1} = \rho_\lambda \frac{\delta b^0{}_\lambda T_1}{b_{0\lambda} T_1} - \rho_\lambda \frac{\delta b^0{}_\lambda T_1}{b^0{}_\lambda T_1} \frac{\omega}{\pi} - \rho_\lambda \frac{\omega}{\pi}$$

dans cette expression, on peut négliger le deuxième terme de la partie droite de l'égalité. On en déduit en passant aux températures et en reprenant les notations des paragraphes précédents.

$$\mathrm{d}T = \rho_\lambda \delta T + \Delta T$$

ΔT étant une quantité négative. Dans le tableau I, nous avons rassemblé les valeurs de $\mathrm{d}T$ pour les quatre enceintes que nous avons déjà étudiées.

TABLEAU I.

Ordre de grandeur des différences ΔT, δT, dT, calculées pour différentes enceintes en fonction de leurs dimensions géométriques. [ΔT est la différence entre la température mesurée au pyromètre et la température vraie de l'enceinte *supposée isotherme*, δT la différence entre la température des parois latérales et celle du centre de la paroi visée, et dT la différence entre la température mesurée au pyromètre et celle du centre de la paroi visée.]

$\rho_\lambda = 0{,}6$, $\lambda = 0{,}65\,\mu$, $T = 1\,800°\text{K}$, et $C_2 = 1{,}4320$ cm degrés.

ENCEINTE N°	$2r$ en cm	$2R$ en cm	D en cm	e en cm	$\frac{\omega}{\pi}$	ΔT	δT	dT	
1	0,8	4	4	0,5	0,01	— 0°,85	+ 2°,8	+ 0°,8	Conditions voisines de celles du four de Hoffmann et Meissner.
2	0,3	2	2	0,6	0,0055	— 0°,46	+ 0°,5	— 0°,15	Conditions voisines de celles du four de Fairchild et collaborateurs.
3	0,1	0,4	0,7	0,2	0,005	— 0°,42	+ 0°,1	— 0°,35	Conditions voisines de notre enceinte n° 1.
4	0,06	0,4	0,6	0,2	0,0025	— 0°,2	+ 0°,02	— 0°,2	Conditions voisines de notre enceinte n° 2.

On voit que pour certaines enceintes les corrections se compensent partiellement, de sorte que la température mesurée au pyromètre diffère très peu de celle de la paroi visée.

Relation entre la température de la soudure d'un couple et la température de l'enceinte, dans laquelle il est plongé — Nous venons de voir les difficultés qu'on rencontrait dans la réalisation des conditions du corps noir dans une enceinte expérimentale. Dans la mesure d'une température de fusion par la méthode du fil, il est nécessaire que la température du fil introduit dans l'enceinte soit pratiquement identique à celle qu'on mesure au pyromètre. Ceci peut ne pas être le cas. La température de la soudure du couple peut être influencée par la perte de chaleur par conductibilité le long de ses deux branches. Dans un four ayant une zone d'uniformité de température très longue, cette perte est naturellement nulle. Par le calcul qui suit, nous allons nous rendre compte de l'ordre de grandeur de la longueur de cette zone nécessaire pour que la soudure du couple soit à la température mesurée optiquement à un ou deux dixièmes de degré près.

Supposons une enceinte cylindrique close, de longueur indéfinie, isotherme et à la température T_1. Une barre de longueur indéfinie, de rayon r, est disposée suivant la longueur de l'enceinte et traverse sa paroi en un point A. En supposant qu'en ce point la barre est à une température T_2, nous allons étudier la répartition des températures le long de la barre et en déduire à partir de quelle distance ρ du point A la barre est pratiquement à la température de l'enceinte.

En appelant k_1 le coefficient de conductibilité thermique de la barre à la température T_1 $\left(\text{nous supposons } \frac{dk}{dT} = 0\right)$, σ_1 l'énergie totale rayonnée par la barre à la température T_1 et σ la même grandeur à une température quelconque T, le régime thermique d'un élément de la barre est donné par la relation :

$$\pi r^2 k_1 \frac{d^2T}{dl^2} = 2\pi r\,(\sigma_1 - \sigma).$$

L'intégration de cette équation différentielle donne (*)

$$T_1 - T = (T_1 - T_2)\, e^{-Pl}$$

ou $P = \sqrt{\frac{2\sigma_1 a}{r k_1 T_1}}$ avec $a = \frac{\sigma_1 - \sigma}{\sigma_1} \cdot \frac{T_1}{T_1 - T}$ et en prenant le point A pour origine des l

En posant $T_1 = 1800°K$, $r = 0{,}2$ mm, $k_1 \sim 1$ W par degré et par cm, $\sigma_1 \sim 10$ W par cm^2 et $a = 4{,}3$ (caractéristique du platine) on a $P \sim 1{,}5$. Alors pour une différence $T_1 - T_2 = 1°$ la formule ci-dessus montre qu'à partir de 1 cm de la paroi A la différence entre la température de la barre et celle de l'enceinte est inférieure à 0°,2.

L'étude que nous venons de faire s'applique immédiatement au problème que nous nous étions posé. Les deux branches d'un couple se comportant de la même façon, il suffirait donc que la température soit uniforme sur 1 cm environ derrière l'enceinte et qu'au-delà elle décroisse régulièrement et lentement (voir par exemple fig. 5) pour que la partie d'un couple ayant un diamètre de 0,4 mm et pénétrant dans l'enceinte, soit à 0°,2 près à la température des parois latérales du four. Souvent le couple touche en plusieurs endroits la paroi visée, qui elle-même en son centre est plus froide, comme nous l'avons vu dans les enceintes bien construites, de quelques dixièmes de degré que les parois latérales. On peut admettre dans ce cas que la soudure du couple, si elle se trouve au voisinage immédiat de la paroi visée, est pratiquement à la température du centre de cette paroi. Dans une enceinte où l'isothermie radiale est mal réalisée, ceci n'a pas lieu et il est difficile de préciser la relation entre la température mesurée optiquement et la température de la soudure d'un couple introduit dans l'enceinte.

Nous voyons en définitive que si le corps noir est bien réalisé, on peut mesurer optiquement la température de fusion d'un métal par la méthode du fil avec une incertitude qui ne dépassera pas quelques dixièmes de degré.

Réalisation des hautes températures. — La réalisation de températures élevées dans des fours destinés à des mesures de températures de fusion d'un métal par la méthode du fil, peut être faite seulement par échauffement d'un conducteur par effet Joule. On emploie soit des enroulements de fils ou de bandes fines métalliques bobinés sur un tube réfractaire isolant, soit des tubes métalliques très fins chaussés sur un tube réfractaire.

Différents métaux ont été employés pour la confection de ces résistances. Le plus souvent, pour le point de fusion du palladium, on a employé le platine ou les alliages de platine avec 10 ou 20 pour 100 de rhodium. Pour des fours à tube, on a employé l'iridium. Ce métal très cassant ne se laisse pas employer sous forme de fil. Tous ces métaux sont volatils à haute température et d'autre part ils sont attaqués à la longue par la silice des réfractaires. Ceci peut produire une usure locale et une mise hors de service de la résistance.

Enfin, ces dernières années, la fabrication d'objets et notamment de fils de molybdène et de tungstène a fait de très grands progrès. La confection de tubes de ces métaux reste compliquée. On peut toutefois se procurer de la tôle de tungstène et de molybdène assez facilement. Ces métaux deviennent très cassants après avoir été portés à haute température. Ils sont très oxydables et nécessitent une atmosphère réductrice. On a construit d'assez nombreux fours à enroulement de molybdène. Il semble toutefois qu'aucun d'eux n'ait été prévu pour des mesures de précision.

Supports réfractaires. — De très graves difficultés se présentent pour toutes les mesures dans lesquelles on veut dépasser environ 1 750° K dans un four construit en masse, Marquardt ou en alundum. A partir de cette température, toutes les pièces du four commencent à ramollir, fléchissent et conduisent l'électricité.

(*) Ce calcul présente beaucoup d'analogie avec celui concernant la répartition des températures sur des filaments de lampes à incandescence, voir par exemple ([17]).

Ceci est extrêmement gênant toutes les fois qu'on veut faire des mesures thermoélectriques. Il est inévitable que si le couple est en contact avec l'enroulement chauffant par l'intermédiaire de porcelaine, il s'établisse des courants dérivés par le couple. Le voltage mesuré aux bornes du couple se compose ainsi, en plus de la force thermoélectrique du couple, de la chute de tension de ces courants le long du couple. Les contacts entre la porcelaine et le couple sont très mal définis et changent constamment, ce qui produit une variation perpétuelle et désordonnée des courants parasites. Quand le voltage aux bornes du four est grand, ces courants parasites sont très importants et leurs variations irrégulières rendent les mesures thermoélectriques pratiquement impossibles. C'est le cas pour le chauffage par enroulement. Avec chauffage par tube le voltage aux bornes est faible et les forces électromotrices parasites, si elles existent, sont petites et peuvent ne pas troubler les mesures.

Sur le phénomène même de la conductibilité électrique des porcelaines, nous ne possédons actuellement que peu de données précises. Nous pouvons signaler un mémoire de *Heraeus* ([19]), suivant lequel, à partir de 1 750° K environ, la masse Marquardt subit un commencement d'électrolyse. Il est probable que l'un des produits de décomposition soit le silicium, ce qui expliquerait l'attaque du platine.

II. — Réalisation du four.

Principe. — Il était depuis longtemps désirable d'essayer de remplacer le platine et le platine rhodié par du molybdène ou du tungstène dans la confection des résistances chauffantes destinées à être portées jusqu'à des températures de l'ordre de 1 900° K. Nous avons employé un enroulement en molybdène, que nous avons protégé contre l'oxydation par une atmosphère d'hydrogène. Cette atmosphère qui favorise la décomposition des oxydes métalliques contenus dans les réfractaires peut, ainsi que les vapeurs provenant de l'enroulement chauffant, contribuer au salissement du métal à fondre et du couple. Pour cette raison nous avons partagé notre four en deux parties. L'une comprise entre deux tubes concentriques, imperméables aux gaz, comprend la circulation d'hydrogène et toutes les pièces en molybdène, l'autre à l'intérieur du tube central peut être dans l'air ou dans un autre gaz, et contient l'enceinte, le couple et le palladium.

Nous avons apporté un soin particulier à la réalisation du corps noir. Conformément aux conclusions auxquelles nous sommes arrivé dans la discussion que nous avons faite nous avons adopté une forme de corps noir de dimensions petites et ne comportant qu'une très petite ouverture. Cette enceinte, centrée sur le tube central était placée dans la zone de température uniforme. Etant donné les dimensions de notre enceinte il n'a pas été nécessaire de réaliser l'uniformité de température sur une très grande longueur.

Dans notre esprit le tube central devait être supporté à ses deux extrémités et ne toucher en aucun endroit le tube chauffant, réalisant ainsi un isolement électrique parfait. Toutefois, à cause du fléchissement et de la conductibilité de tous les tubes de porcelaine, ce montage ne pût être réalisé.

De ce fait, à partir de 1 750° K environ des courants parasites très grands venaient troubler complètement les mesures thermoélectriques. Nous sommes arrivé à tourner la difficulté en chaussant sur la surface extérieure du tube central un tube de molybdène (en tôle recourbée), de longueur convenable. Grâce à ce dispositif, toute la partie à l'intérieur de ce tube est au même potentiel, ce qui élimine *complètement* les courants parasites, si toute l'installation potentiométrique est convenablement isolée. A partir de ce moment tous les tubes furent centrés par des cales et le fléchissement n'intervint plus.

Enfin, pour nos mesures, nous avons eu besoin de faire monter la température du four lentement et régulièrement. Ceci se fait commodément dans un four très bien calorifugé.

Description du four (fig. 2). — Les extrémités du tube B fait en masse K (60 cm de long, 6 cm de diamètre intérieur, 3 mm d'épaisseur de parois) sont ajustées dans les deux

pièces identiques, F et F'. Ces pièces faites en laiton comportent une circulation d'eau qui les maintient à température ordinaire. Elles sont d'ailleurs faites de telle façon qu'aucune partie soudée ne risque de toucher le tube B, par lequel se fait l'apport de la chaleur. Le joint entre le tube B et les pièces F et F' est fait par une mince couche de golaz. Refroidi par les pièces F et F', ce collage nous a donné satisfaction. Par contre, des collages au ciment kaolin se sont très rapidement fendillés et n'ont pu nous assurer un joint étanche pendant un nombre suffisant d'heures. Deux autres pièces E et E' se chaussent avec frottement sur les pièces F et F'. Ces deux paires de pièces proviennent de notre ancien four. L'étanchéité de ce joint est assurée par une couche de cire.

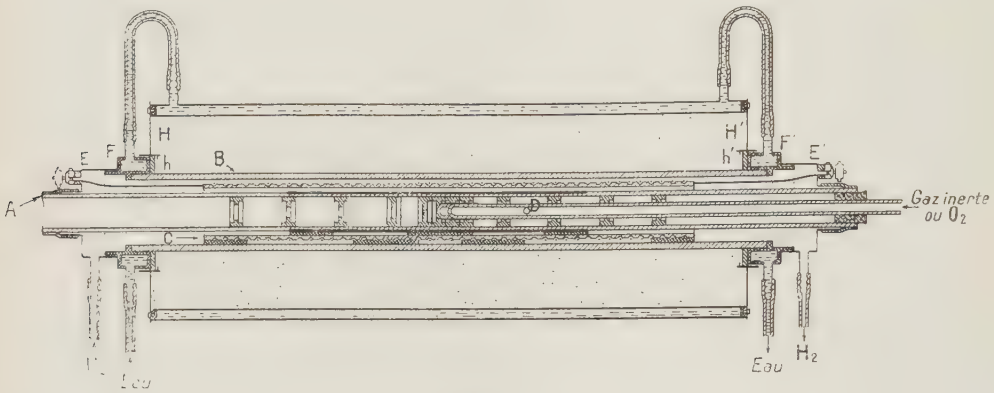

Fig. 2.

Chacune de ces pièces porte une borne isolée dans laquelle on serre l'extrémité du fil de l'enroulement chauffant. Ce fil traverse la borne par un trou que l'on bouche avec de la cire. La disposition de ces pièces était prévue pour permettre un démontage facile du four. Il suffit, en effet, de démonter les pièces E et E' pour rendre accessible tout l'intérieur du four.

Le deuxième tube imperméable aux gaz A également en masse K (80 cm de longueur, 2 cm de diamètre intérieur, 3 mm d'épaisseur de parois), traverse les pièces E et E' par le collier, dont chacune d'elles est munie. Le joint étanche entre A et les pièces E et E' se fait par deux colliers de caoutchouc, chaussés sur les colliers métalliques de E, E' et sur le tube A.

Les deux pièces F et F' sont maintenues dans l'axe de la carcasse métallique du four par des flasques H et H', munies de colliers h et h', dans lesquelles F, F' peuvent librement coulisser permettant la dilatation et le retrait du tube B. Une rondelle d'amiante, maintenue contre les pièces F et F', empêche le calorifuge de pénétrer dans l'espace compris entre le collier et la pièce qui coulisse. Le joint en caoutchouc entre A et E, E' permet la libre dilatation de A indépendamment de B. Ceci est important à cause de la différence de température qui existe entre ces deux tubes. Entre A et B se trouve le tube C en masse D_4 (50 cm de longueur, 3,5 cm de diamètre intérieur, 3 mm d'épaisseur de parois), qui porte l'enroulement chauffant.

Entre le tube C et le tube B se trouve un tube de protection calorifique qui n'est pas indiqué sur le dessin. Le centrage de tous les tubes est assuré par des cales longues de 4 à 5 cm, en forme de parois cylindriques.

L'enroulement chauffant enroulé sur le tube C se compose de 19 m de fil de molybdène de 1 mm, sa résistance à chaud est de l'ordre de 10 ω et il consomme 1,2 k W, au voisinage de 1800° K. Le cylindre de molybdène fait en tôle de 0,3 mm d'épaisseur, de 30 cm de longueur est chaussé sur le tube A. En même temps que de protection contre les courants parasites, il sert pour régulariser la température le long de l'axe du four.

Le tube B est entouré de calorifuge (poudre d'alumine calcinée) contenu dans une chemise d'eau G, destinée à maintenir l'extérieur du four à une température constante.

Alimentation du four (fig. 3). — Le four était alimenté par une batterie d'accumulateurs de 126 volts et d'une capacité de 600 ampères-heures. Au voisinage du point de fusion le courant dans l'enroulement chauffant était de l'ordre de 12 A. Pour éviter de faire débiter les accumulateurs trop longtemps, le four était porté à une température voisine de 1800° K par le courant alternatif de la ville. Un interrupteur double permettait de le remplacer instantanément par le courant continu de la batterie d'accumulateurs. Le circuit comprend un inverseur permettant de s'assurer qu'il n'y avait pas de courants parasites. Un ampèremètre de précision permettait un réglage commode et précis du courant d'alimentation du four, qui se faisait par un rhéostat à fiches (*). Chaque fiche de ce rhéostat court-circuite une résistance dont la valeur croît de la première fiche à la dernière comme les nombres 1, 2, 4, 8, 16, 32. Une combinaison de fiches convenablement choisies permet de donner au rhéostat toutes les résistances [jusqu'à 63] multiples entiers de la valeur de la résistance 1 qui est 0,015 ω.

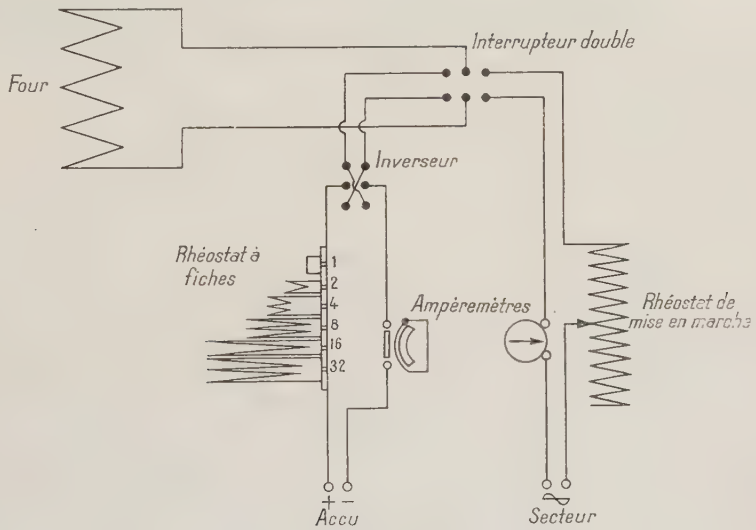

Fig. 3. — Montage d'alimentation du four.

La stabilisation naturelle d'un four bien calorifugé se fait très lentement. Pour stabiliser notre four plus rapidement, nous avons adopté la méthode suivante. Le four montant à raison de 3° ou 4° par minute avec un courant de chauffe de 12 amp. environ, la fiche 1 du rhéostat correspondant à 0,009 amp. on mettait en circuit la résistance 32, toutes les autres étant encore court-circuitées. Quand, à cause de cela, la température commençait à baisser, on court-circuitait la résistance 32 et on mettait en circuit la résistance 16 ; après un certain moment, la température recommençait à monter ; alors sans supprimer la résistance 16 on mettait en circuit la résistance 8, ce qui faisait de nouveau baisser la température, et ainsi de suite. On arrive ainsi à stabiliser en quelques minutes le four à la température qu'on veut et le maintenir stable avec une précision de 0°,1, pendant un temps indéfini ; pratiquement, dix ou quinze minutes suffisaient pour les mesures. Il suffisait de diminuer la résistance du rhéostat d'une quantité équivalente à la fiche 4 pour faire monter la température du four de 0°,5 par minute environ.

(*) Ce type de rhéostat a été proposé par M. *J. Mendousse* et est beaucoup employé au Laboratoire de Pyrométrie de la Fondation Edmond de Rothschild.

Répartition des températures dans le sens de l'axe du four. — Avant de pouvoir disposer convenablement l'enceinte à l'intérieur de notre four, nous avons étudié la répartition des températures le long de l'axe du four. Pour cette étude nous avons introduit dans le four une série de diaphragmes disposés symétriquement. Ces diaphragmes supportaient un tube réfractaire capillaire dans l'axe du four. Le couple était introduit dans ce tube de façon que ses branches soient étendues l'une dans le prolongement de l'autre dans l'axe du four. En déplaçant le couple de 5 mm en 5 mm et en attendant après chaque déplacement le temps nécessaire pour que la soudure du couple prenne la température du tube capillaire à l'endroit correspondant, on mesura une courbe de répartition des températures dans la partie centrale du four. Ayant déterminé ainsi l'endroit où la température était à peu près uniforme, nous avons introduit dans le four tous les diaphragmes tels qu'ils devaient servir dans la suite, et un tube analogue au tube D (voir paragraphe suivant). L'enceinte ne fut pas introduite pour permettre de passer le couple de bout en bout du four. La courbe de répartition obtenue avec cette disposition est représentée sur la figure 4. On constate que sur une

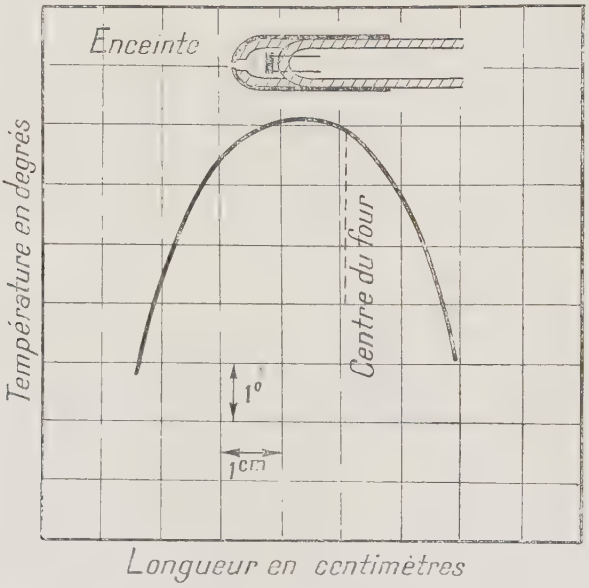

Fig. 4. — Courbe de répartition des températures le long de l'axe du four.

longueur de 2,5 cm, on a une uniformité de température meilleure qu'à 0°,5 près. [Le manchon de platine employé dans la suite améliore encore l'uniformité]. Au cours des mesures, après chaque chauffe, l'enceinte devait être démontée, mais on avait pris soin de la placer au même endroit, à 1 ou 2 mm près, de sorte que pratiquement toutes les mesures furent faites avec la même distribution des températures dans l'enceinte.

Enceinte rayonnante (fig. 5) (1). — Dans le chapitre précédent nous avons discuté la façon de construire un corps noir expérimental et tâché de nous rendre compte de l'ordre de grandeur des corrections que les défauts d'un corps noir entraînent sur la température mesurée au pyromètre. Nous nous sommes efforcés dans la réalisation de notre corps noir expérimental, de nous placer dans les meilleures conditions (enceintes 3 et 4 du chapitre précédant). Il fut réalisé de la façon suivante. Le tube A ayant 20 mm de diamètre intérieur, l'enceinte R a 4 mm de diamètre intérieur et environ 6 mm de diamètre extérieur, sa longueur est d'environ 6 à 7 mm. Cette enceinte fut montée en coupant l'extrémité d'un tube porte-couple fermé à un bout et en taillant de telle façon le bout ouvert de l'enceinte,

(1) Le tube de molybdène chaussé sur le tube A n'est pas indiqué sur le dessin.

qu'il vienne s'adapter exactement sur le bout fermé en demi sphère d'un autre tube porte-couple (D), cette demi-sphère servant de fond à l'enceinte. Cette paroi du tube est beaucoup plus épaisse que les parois latérales ayant environ 2 mm. Cette épaisseur est suffisante pour rendre l'isothermie radiale bonne avec l'ouverture et les dimensions de l'enceinte que

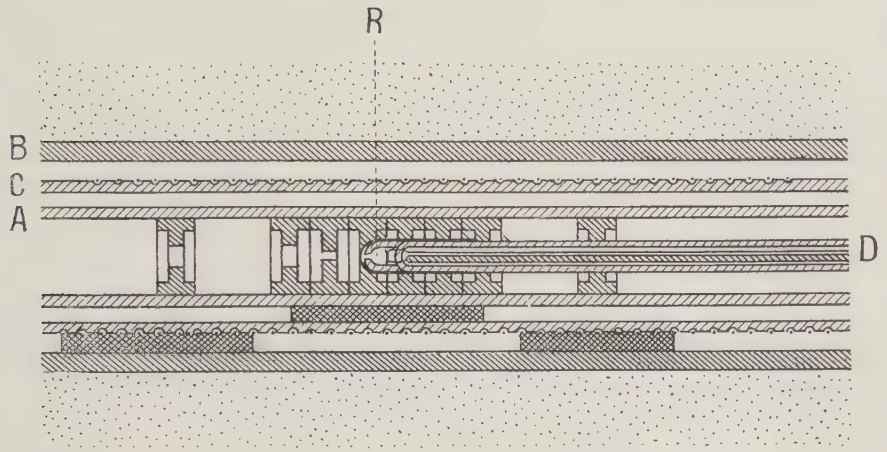

Fig. 5.

nous avons adoptées. Nous avons réalisé deux enceintes. Dans la première nous avons ménagé dans la paroi avant un trou de 1 mm de diamètre. Elle avait une longueur de 7 mm. Une deuxième enceinte, ayant à peu près les mêmes dimensions se distinguait de la première par une ouverture plus petite, soit de 0,6 mm. Ces ouvertures correspondent à des angles solides, sous lesquels la paroi arrière rayonne vers l'extérieur respectivement de de 0,015 et 0,01 stéradian. Le tube porte-couple D et l'enceinte s'appliquant sur son extrémité sont joints par un manchon de platine ayant 25 mm de longueur et 0,2 mm d'épaisseur de paroi. Il se chausse avec frottement sur ces deux pièces, de telle sorte qu'il recouvre non seulement toute l'enceinte mais encore environ 15 mm du tube porte couple. Ce montage assure une bonne uniformité de la température et ne laisse le rayonnement s'échapper que par l'ouverture du corps noir. La soudure du couple peut être soit appliquée contre le fond de l'enceinte et à l'extérieur de celle-ci, soit introduite à l'intérieur de l'enceinte par deux petits trous. On se rend compte que dans ce dernier montage on est obligé de démonter l'enceinte pour pouvoir souder entre les extrémités du couple un nouveau fil de palladium.

L'enceinte, ainsi que le tube D sont supportés par des diaphragmes et centrés sur le tube A. Le trou étant invisible à chaud, on effectuait le centrage avant chaque chauffe en éclairant l'intérieur du four avec un arc. La position de l'enceinte par rapport au centre du tube A était soigneusement réglée à chaque mesure. Comme l'indique la figure 5 elle était placée de telle façon que la paroi visée soit à peu près au maximum de température, et que la soudure du couple le dépasse légèrement.

De part et d'autre de l'enceinte les diaphragmes sont disposés symétriquement de 5 en 5 cm. Dans la partie centrale où se trouve l'enceinte il y en a 7 et dans certaines mesures 9 sur 10 cm. Du côté avant ces diaphragmes servent à diminuer les pertes par rayonnement, du côté arrière à supporter la partie chaude du tube D, qui, si on ne prend pas cette précaution, risque de se déformer fortement. Les deux branches du couple contenues dans ce tube sont isolées l'une de l'autre par un tube capillaire en masse D_4.

Remarque sur les réfractaires employés. — Nous avons employé des tubes réfractaires en masses Marquardt, D_4 et K. Nous avons déjà signalé qu'elles subissent un fort

ramollissement à partir de 1 750°K environ. Chauffées à hautes températures pendant de longues heures, toutes ces pièces prennent un fort retrait. Toutefois seul le tube B a dû être remplacé deux fois, s'étant fendu et ne pouvant plus garder l'étanchéité nécessaire, les deux fois après 150 heures de chauffe dont la moitié environ au voisinage de la température du fusion du palladium.

Toutes les pièces y compris le tube A qui détermine la deuxième paroi étanche ont pu nous servir pendant toute la durée de nos recherches sans aucune modification. Tous les diaphragmes sont restés mobiles dans ce tube, de sorte que l'on pouvait les sortir et changer leur disposition à volonté, malgré le retrait qu'avait pris ce tube.

Le tube C le plus chaud, a pris naturellement le plus grand retrait, soit de 0,1 de son diamètre dans la partie centrale.

La masse K est très bonne au point de vue de l'étanchéité et nous a donné entière satisfaction.

Il n'y a pas entre ces masses et le molybdène d'attaque notable et gênante. Il doit y avoir une attaque assez légère du platine par la masse K. On constate en effet qu'un couple contenu dans un tube porte-couple en masse K se colle aux parois du tube vers 1 700°K environ. Cette adhérence n'a pas lieu dans l'oxygène. Nous avons employé plus tard des tubes porte-couples en masse Marquardt et avons généralement chauffé le couple dans l'oxygène. En terminant la description de notre four, nous pouvons noter qu'il s'est montré très robuste et d'un emploi simple et commode et nous a donné pleine et entière satisfaction.

III. — **Mesures.**

Mesures thermoélectriques. — Les couples thermoélectriques sont d'un emploi très commode dans les mesures de températures de fusion par la méthode du fil. Différentes méthodes de mesures ont été employées.

La méthode employée par *Hoffmann* et *Meissner* ([5]) est la suivante. La soudure du couple « témoin » est soit introduite dans l'enceinte même, soit mise en contact avec la paroi, de cette enceinte en dehors de celle-ci. Le couple de « fusion », les branches duquel sont réunies uniquement par un petit fil de palladium, est introduit par l'avant (côté optique) du four, de sorte que le fil de palladium vient toucher la paroi de l'enceinte qui se trouve en face du trou. La température du four montant progressivement, celle de la soudure du couple de « fusion » s'arrête et reste constante pendant toute la fusion du palladium, tandis que celle de la soudure du couple « témoin » continue à indiquer la température toujours croissante de l'enceinte ou de sa paroi. En traçant la courbe de différence des indications des deux couples, on notait l'indication du couple « témoin » au début de l'anomalie de cette courbe correspondant à la fusion. Ensuite on sortait du four le couple de « fusion » et, après avoir stabilisé le four à la température à laquelle le couple « témoin » donnait la même indication que celle déterminée précédemment, on procédait aux mesures photométriques.

Cette méthode a été critiquée par les auteurs eux-mêmes à cause du fait que l'enceinte n'est pas tout à fait dans les mêmes conditions dans les deux mesures et la relation entre la température du couple « témoin » et celle de l'enceinte peut être modifiée par l'absence du couple de « fusion » pendant les mesures photométriques.

Pour éliminer cet inconvénient, cette méthode a été modifiée par *Fairchild*, *Hoover* et *Peters* ([10]) de la façon suivante. Un premier couple ne servait dans les mesures qu'à contrôler le régime du four et était introduit par l'arrière. Un deuxième couple servait à observer la fusion et était introduit dans l'enceinte par l'avant du four, mais de telle façon qu'il ne gênait pas les mesures optiques et pouvait être facilement sorti ou introduit. On mettait la température du four en évolution lente vers la fusion, évolution contrôlée par l'indication du premier couple, et quand le four n'était plus qu'a 1° ou 2° au-dessous de la température de fusion, on introduisait le couple de « fusion » à sa place et on faisait des mesures au pyromètre en fonction des indications de ce couple, jusqu'au moment où se produisait la

fusion et au moment même de la fusion. Ceci permettait de déterminer l'écart entre la température du four mesurée au pyromètre et la température de fusion. On augmentait chaque mesure de l'écart correspondant mesuré au couple et ensuite on la faisait intervenir dans la moyenne.

Cette méthode est bonne. Toutefois les mesures de température d'une source en évolution sont moins certaines que des mesures sur une source à température constante. En effet il se passe un certain temps avant qu'on puisse estimer l'égalité de brillances de deux plages photométriques, et cette estimation est naturellement moins certaine quand la source évolue. Le moment où l'égalité photométrique est réalisée étant difficile à estimer, la lecture correspondante au couple comporte une petite incertitude. D'autre part, pendant un régime non stationnaire l'isothermie est moins bien réalisée que pendant un régime stable, pour lequel on l'a étudié et réglé. Les incertitudes qui peuvent résulter de cette façon d'opérer sont petites pour la vitesse d'échauffement choisie par les auteurs.

Le principe de la méthode que nous avons employée est le suivant(*). On introduit dans l'enceinte un seul couple (0,4 mm de diamètre) employé comme couple de « fusion », on porte le four à 1 ou 2 degrés au-dessous de la fusion et on le stabilise. On effectue alors une série de mesures pyrométriques qui se font, le four étant très stable, dans de très bonnes conditions. Ensuite on fait monter la température de l'enceinte très lentement (0°,5 par minute)

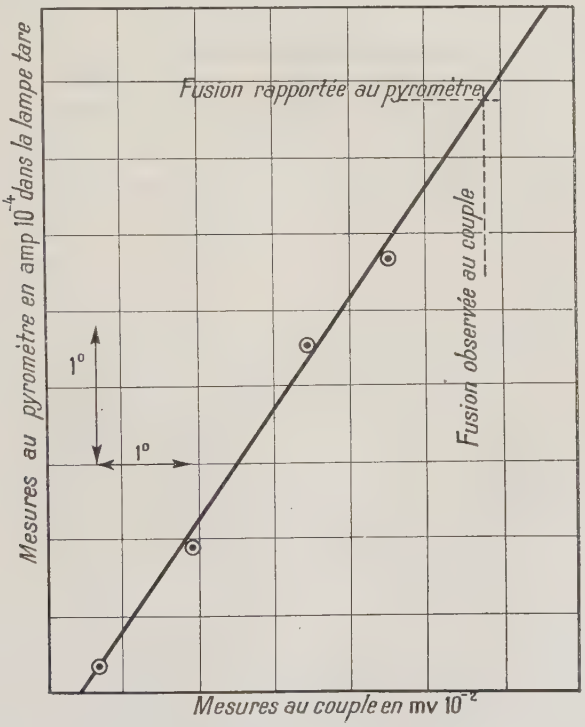

Fig. 6. — Points expérimentaux et droite permettant de déterminer l'indication du pyromètre correspondant à la fusion observée au couple.

et on observe la fusion. La température mesurée optiquement est plus faible que celle de la fusion, mais on mesure la différence de ces deux températures au couple en notant les indications de ce dernier au moment des mesures optiques et au moment de la fusion. Le couple

(*) Cette méthode a été mise au point en 1928 au Laboratoire de Pyrométrie de la Fondation Ed. de Rothschild par M. *J. Mendousse* pour des mesures au point de fusion de l'or.

n'est pas employé comme instrument de mesures absolues. On ne fait appel qu'à la constance de la pente de sa courbe de graduation. Il est certain que toutes les petites modifications que peut subir un couple aux hautes températures ne peuvent pratiquement pas changer cette pente de façon à introduire des erreurs considérables dans la détermination d'un intervalle d'un ou deux degrés.

Nous avons d'ailleurs pris dans les mêmes conditions que ci-dessus plusieurs points expérimentaux disposés dans un intervalle de 6 ou 7 degrés. Tous ces points, moyennes de séries de mesures pyrométriques et thermoélectriques le four étant stabilisé, se placent avec une précision remarquable sur une droite de pente connue d'avance. Cette pente est naturellement de 45° si on porte en ordonnées et en abscisses les indications pyrométriques et thermoélectriques en degrés. Ceci prouve que si sur 6 ou 7 degrés la pente de la courbe d'étalonnage du couple s'accorde avec les mesures pyrométriques, avec la précision qu'on peut espérer de telles mesures, à plus forte raison la précision est suffisante sur un intervalle d'un ou deux degrés, celui qui intervient dans la mesure de la correction.

En pratique nous avons pris plusieurs points expérimentaux sur un intervalle de plusieurs degrés et avons fait passer par tous ces points la droite de pente connue (*) (voir figure 6) ou bien nous avons groupé toutes nos mesures à une seule température et avons fait passer la droite de pente connue par ce point unique. La précision est la même dans les deux cas, mais la deuxième façon d'opérer est plus simple, car il ne faut stabiliser le four qu'une seule fois.

La détermination de la fusion elle-même se faisait par la lecture de l'indication du couple au moment où il se produisait une anomalie thermique caractéristique. Cette anomalie est un peu différente de celle qu'on observe au point de fusion de l'or, tout en étant très marquée. Comme pour l'or, la température de la soudure se stabilise au moment de la fusion, mais ce palier est moins net que pour l'or et traîne en général sur quelques dixièmes de degré. Un tel palier est donné par la courbe de la figure 7. Nous avons toujours

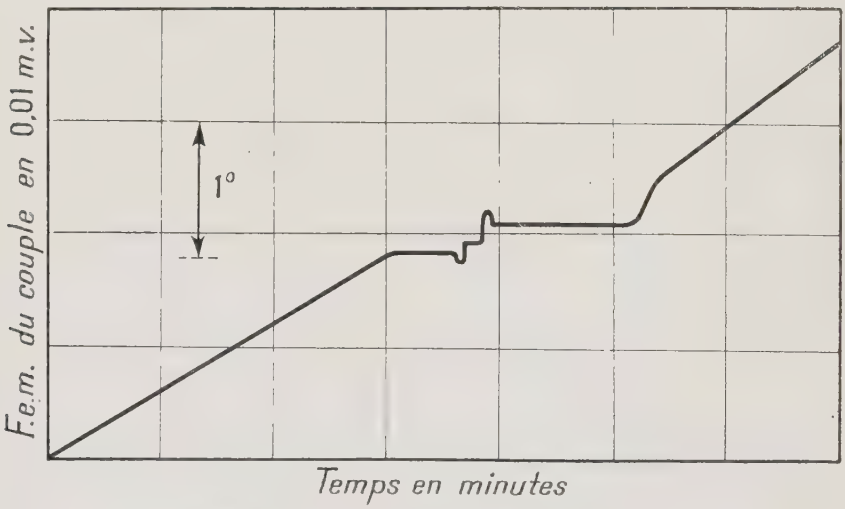

Fig. 7. — *Palier de fusion du palladium.*

pris en considération seulement le début du palier pour éviter qu'un salissement du métal pouvant se faire au moment de la fusion ne vienne modifier la température de fusion. Le début du palier était d'ailleurs suffisamment accusé sur la courbe de fusion.

(*) Cette pente est égale au rapport des gradients $\frac{di}{dT}$ et $\frac{dV}{dT}$ déduits des courbes de graduation du pyromètre et du couple pour l'intervalle de température considéré.

A haute température les indications d'un couple platine-platine rhodié évoluent avec le temps de chauffe à cause de l'évaporation du rhodium. Ce phénomène s'est effectivement produit dans nos expériences. Pendant la première période de nos mesures, la force électromotrice du couple observée à la fusion diminuait assez régulièrement d'environ 0,01 mV à chaque chauffe, mais ensuite les indications du couple à la fusion ne furent plus systématiques, oscillant autour d'une moyenne de 15,85 mV la valeur initiale étant de 15,93 mV environ. Ceci se produit probablement à cause du fait qu'après chaque fusion un morceau du couple était coupé, et à la fusion prochaine différents points du couple n'étaient pas remis dans la même position que précédemment.

Nous avons étudié l'homogénéité des couples qui nous ont servi et avons constaté qu'après une quinzaine de chauffes l'extrémité voisine de la soudure donnait avec un fil homogène des forces thermoélectriques d'environ 0,3 mV ou 0,4 mV et des forces électromotrices décroissantes quand on s'éloigne de la soudure pour devenir négligeables à une distance de 10 à 20 cm de celle-ci, ceci étant d'ailleurs relatif aux deux branches du couple.

Les mesures de la force électromotrice du couple ont été faites avec un petit potentiomètre simplifié que nous avons construit nous-mêmes. Ce potentiomètre comprend une résistance fixe convenablement choisie, qui, le courant potentiométrique étant réglé sur une pile étalon, donnait une tension voisine de celle donnée par le couple au voisinage du point de fusion du palladium. Une petite résistance additionnelle permettait d'augmenter la tension donnée par le potentiomètre, pour mesurer la sensibilité de l'installation. Les mesures étaient faites avec un galvanomètre de précision dont on lisait les déviations sur une échelle placée à 3 mètres du galvanomètre. Les déviations que nous avons eu à lire étaient faibles, malgré les variations du couple, car les forces électromotrices données par ce couple vers la fin de nos mesures étaient voisines de la plus faible tension donnée par le potentiomètre. La sensibilité de l'installation était de 10 mm de déviation sur l'échelle pour 0,01 mV, soit 12 mm pour 1°.

Pureté du métal. — Nous avons employé des fils de palladium de différents diamètres et de longueur de 3 à 4 mm.

Tout le palladium que nous avons employé nous a été fourni par la maison Heraeus, à Hanau, qui nous avait fourni également les tubes de palladium pour nos études antérieures. Nous n'avons pas pu effectuer d'étude de la pureté du métal. Toutefois la maison Heraeus garantit une pureté de 99,99 pour 100. Suivant une correspondance échangée avec cette maison, le palladium fourni ne possède aucune trace d'impureté décelable chimiquement ou physiquement. Les seules impuretés qui auraient pu s'introduire proviendraient des filières ayant servi aux étirages. La maison Heraeus, après chaque étirage avant de recuire, prend soin de nettoyer la surface du métal en la plongeant pendant quelques instants dans un bain d'acide.

Mesures optiques. — Toutes les mesures optiques ont été effectuées par le même opérateur et à l'aide du même pyromètre que celui employé dans la méthode du tube [6].

Le pyromètre employé a été décrit antérieurement. Nous rappellerons que c'est un micropyromètre dans lequel l'image de la source projetée sur le filament d'une lampe tare par un objectif ($f = 20$, d'ouverture $f/5$, diaphragmé de façon que l'angle α soit égal à 0,1 radian) [20] est vue, ainsi que la lampe tare à travers un microscope de grossissement 20. Ce microscope est muni d'un diaphragme assurant un angle $\beta = 0{,}05$ radian pour le faisceau utile issu du filament. L'intensité de la source était réduite par un verre neutre de densité optique environ égale à 1 ; l'œilleton contenait deux verres rouges Iena 4512, d'épaisseur 3 mm chacun. L'ouverture du faisceau sortant du four était de 0,05 radian et couvrait largement le diaphragme de l'objectif placé à 80 cm environ de la paroi rayonnante. Ainsi, pour la première enceinte, l'image du trou de l'enceinte était environ 5 fois plus grande que la largeur du filament, pour la deuxième environ, 3 fois. Le trou était invisible pendant un régime stationnaire du four. On ne pouvait le faire apparaître qu'en faisant varier brusque-

ment le régime du four. On pouvait effectuer ainsi le réglage du pyromètre sur ce trou. Il était d'ailleurs toujours très bien centré sur le premier diaphragme qui avait un diamètre 2 ou 3 fois plus grand, à peine visible lui aussi. On pouvait pointer le trou avec une précision suffisante en pointant le centre du premier diaphragme.

Deux lampes tares étaient montées sur ce pyromètre, l'une servant pendant les mesures, l'autre destinée à la vérification de la constance de la première. Employée pendant les mesures à une température apparente de 1 450°K environ, la lampe de service comparée à l'autre à la fin des mesures, ne présenta aucun changement.

Le rapport $\frac{di}{dT}$ du pyromètre muni du verre noir a été déterminé pour chacune des lampes avec précision.

Les mesures de courant dans les lampes étaient faites à l'aide d'une résistance étalon Siemens et d'un potentiomètre de précision. Les mesures se faisaient en lisant la déviation du galvanomètre, le curseur du potentiomètre étant placé toujours au même endroit. L'installation était du même ordre de sensibilité que celle employée pour les mesures thermo-électriques. Sur l'échelle placée à 4 m du galvanomètre 0,01 mV correspondait à 12 mm (soit donc 22 mm par degré).

Les mesures photométriques elles-mêmes se faisaient de deux façons différentes : soit par égalisation directe, soit par contraste ([21]). Cette dernière méthode consiste à introduire une petite résistance dans le circuit de la lampe tare, pouvant être facilement court-circuitée. On ne s'astreint plus à produire l'égalité de brillance de la source et de la lampe tare, mais d'amener le filament à paraître sombre sur le fond de la source, de telle façon qu'en court-circuitant la résistance supplémentaire il apparaisse brillant. On arrive ainsi très rapidement à trouver un courant pour lequel les deux contrastes sont égaux. L'expérience a montré que cette méthode, beaucoup moins fatigante pour l'opérateur et très rapide en même temps, est douée d'une précision nettement supérieure à celle des mesures ordinaires. La manipulation de la petite résistance correspond à des variations de la brillance de la source de 6,5 pour 100 environ. Cette variation se mesure facilement, et reste d'ailleurs constante. Après avoir fait une lecture de l'indication du galvanomètre au contraste sombre par exemple, on lui ajoute la valeur correspondant au demi-contraste pour avoir la mesure réelle.

Dans ces mesures, l'opérateur ne pouvait pas être suggestionné. En effet, les variations du couple ne permettaient pas de prévoir à l'avance mieux qu'à 2 ou 3 degrés la valeur de la force électromotrice pour laquelle la fusion devrait se produire.

Variantes. — Dans nos mesures, nous nous sommes astreints à faire changer les conditions des fusions et des mesures le plus possible.

1° En premier lieu, nous avons voulu étudier l'influence du fait que le fil à fondre soit dans l'enceinte elle-même ou derrière la paroi visée de l'enceinte. Ces mesures, faites toutes dans l'oxygène et avec le même fil Heraeus, nous ont donné en moyenne en courant dans la lampe tare 0,28284 A $\pm$ 0,00015 pour les fusions derrière la paroi et 0,28293 amp. $\pm$ 0,00012 pour les fusions à l'intérieur de l'enceinte.

2° Une deuxième étude fut faite en comparant la première enceinte à la deuxième. On ne trouva pratiquement qu'une très faible différence; 0,28293 A $\pm$ 0,00012 pour la première enceinte, 0,28288 A $\pm$ 0,0007 pour la deuxième, toutes les mesures étant faites avec le même fil Heraeus, en le disposant à l'intérieur de l'enceinte, et le fondant dans une atmosphère d'oxygène.

3° Dans une troisième étude, nous avons comparé différents fils Heraeus. Nous avons trouvé dans les mêmes conditions dans la première enceinte 0,28293 A $\pm$ 0,00012 pour un fil de 0,5 mm de diamètre, 0,28289 A $\pm$ 0,00011 pour un fil de 0,85 mm de diamètre, et enfin 0,28292 $\pm$ 0,00007 pour un fil de 0,3 mm de diamètre. On constate que les résultats sont pratiquement identiques.

4° Enfin, nous avons effectué une série de fusions dans l'azote. Nous avons

obtenu toutes choses égales dans l'oxygène 0,28289 A ± 0,00011 et dans l'azote 0,28293 A ± 0,00007. La concordance entre toutes ces mesures est bonne. L'écart maximum entre les différentes moyennes est de ± 0,00005 A équivalent à ± 0°,25 environ. L'écart maximum dans chacune de ces séries de mesures ne dépasse pas ± 0,0001 A, soit ± 0°,6. L'écart maximum dans la moyenne définitive entre les mesures isolées est de ± 0,00017 A, soit ± 0°,9.

Les fusions dans l'azote se sont montrées un peu moins nettes que celles dans l'oxygène, le palier de fusion se faisant sur un intervalle de température plus grand. Aussi avons-nous dû éliminer trois fusions qui ne furent pas assez nettes. Toutefois pour ces mesures, l'écart avec la moyenne est faible.

Il est naturellement moins correct d'effectuer les fusions en plaçant le fil derrière la paroi visée, car la température de l'enceinte peut être plus différente de celle du fil à fondre, que si on introduit le fil à l'intérieur. Les mesures effectuées de cette façon sont un peu moins précises. Néanmoins, étant donné les conditions d'isothermie dans notre four nous les avons fait intervenir dans la moyenne.

Chacune des séries de mesures effectuées comporte cinq fusions.

Discussion des mesures. — Dans la réalisation de nos corps noirs, nous avons poursuivi le but de diminuer le plus possible les incertitudes pouvant provenir des défauts que nous avons discutés.

Nous avons vu que la température mesurée au pyromètre diffère de la température du centre de la paroi visée pour la première enceinte d'environ de — 0°,35, pour la deuxième — 0°,2. D'autre part, la discussion que nous avons faite, l'examen de la courbe de répartition des températures dans notre four, la position des enceintes dans le four et l'épaisseur des branches du couple nous permettent d'admettre que le fil à fondre était à environ 0°,1 près, à la température du centre de la paroi visée. Pour le résultat final de nos mesures, nous pouvons donc appliquer les corrections calculées pour trouver la température du centre de la paroi visée.

Ces corrections sont du même ordre pour les deux enceintes. Leur différence n'est pas décelable par des mesures optiques. La comparaison expérimentale que nous avons faite donne une petite différence (~ 0°,2) dans le sens contraire. Les deux enceintes sont donc pratiquement identiques entre elles et réalisent le corps noir avec une très bonne précision.

En dehors des erreurs introduites par les défauts de l'enceinte peuvent s'introduire encore les erreurs dues aux mesures elles-mêmes. Nous avons vu que dans les mesures pyrométriques nous avons eu une très bonne concordance. Dans la mesure de l'intervalle entre la température à laquelle on a fait les mesures optiques et la température de fusion, il ne s'introduit pas d'erreurs notables. Dans l'observation du palier nous avons toujours pris pour la température de fusion celle qui correspondait au début du palier. Le fait que des fils de diamètres très différents ont donnés des résultats concordants, prouve que pendant toute la chauffe précédant la fusion, le métal ne se salit pratiquement pas. Quant à la pente de la courbe d'étalonnage du couple donné par le constructeur, elle ne s'est pas modifiée, comme le montre le calcul, de plus de 0,005 mV par degré pendant nos mesures, quantité tout à fait négligeable pour l'intervalle de températures où nous avons opéré.

Résultat de la méthode du fil. — En résumant le travail que nous avons exposé, nous pouvons dire ce qui suit. Nous avons réalisé un four à enroulement de molybdène (dans l'hydrogène) qui nous a rendu d'excellents services, a pu servir pendant plusieurs centaines d'heures au voisinage du point de fusion du palladium et reste encore en service à l'heure actuelle. Dans ce four, tous les courants parasites qui pouvaient se produire dans le couple ont été éliminés. Les enceintes rayonnantes, grâce à de petites dimensions et à de petites ouvertures, réalisaient les conditions du corps noir à mieux de 0°,3 près à la température de fusion du palladium.

Dans ce four, nous avons effectué dans des conditions variées six séries de mesures suivant une méthode qui elle-même ne présente pas d'erreurs appréciables. La concordance

des différentes variantes s'exprime par $\pm$ 0,00005 A en courant dans la lampe tare ou $\pm$ 0°,25 (ou 0,0017 en brillance).

Parmi ces variantes, la première série faite avec le fil de palladium derrière la paroi du corps noir est un peu à l'écart. La concordance des 5 autres séries de mesures est $\pm$ 0,000025 A ou $\pm$ 0°,15.

Dans chaque variante la concordance s'exprime en moyenne par $\pm$ 0,0001 A en courant dans la lampe tare, soit $\pm$ 0°,6. A chacune des moyennes de séries de mesures, il est légitime d'ajouter la correction que nous avons calculée :

MOYENNES (5 mesures)	CORRECTIONS
0,28283 A	+ 0,00006 A
0,28288 —	+ 0,00003 —
0,28293 —	+ 0,00006 —
0,28292 —	+ 0,00006 —
0,28289 —	+ 0,00006 —
0,28293 —	+ 0,00006 —
0,28290 A	+ 0,00005 A

nous pouvons donc admettre comme résultat définitif de nos mesures :

0,28295 A $\pm$ 0,00017 A

où la précision $\pm$ 0,00017 porte sur une mesure isolée.

IV. — Comparaison de la méthode du fil avec la méthode du tube.

Rappel des résultats de la méthode du tube. — Dans le mémoire concernant la réalisation du corps noir au point de fusion du palladium par la méthode du tube (6), nous étions arrivés aux résultats suivants : les mesures effectuées avec le même pyromètre, employé dans les mêmes conditions, que nous l'avons employé dans le présent travail, ont fourni, pour des tensions mécaniques exercées sur les tubes ne dépassant pas 1,6 g. mm^{-2} des résultats très concordants. Dans une moyenne d'une quinzaine de mesures l'écart est inférieur à $\pm$ 0°,8.

Les mesures effectuées sur les tubes de même provenance et identiques aux premiers, sous des tractions mécaniques plus grandes que 1,6 g. mm^{-2} nous ont donné aussi des résultats concordants mais de 9° environ plus faibles que les premiers.

Dans les deux séries de mesures la fusion se traduisait par la rupture du tube. En courant dans la lampe tare les résultats des deux séries de mesures conduiraient aux deux nombres suivants :

0,28457 A, traction faible.
0,28298 A, traction forte.

Nous avions pensé alors que le premier nombre correspondait à la fusion. Toutefois, dès nos premières mesures par la méthode du fil, il se trouva qu'elles concordaient avec le deuxième, le phénomène calorifique, caractéristique de la fusion, se produisant donc au « point-bas ».

Mesures sur des tubes spécialement purifiés. — Nous avons alors tenu à refaire une nouvelle série de mesures sur des tubes spécialement purifiés par la maison Heraeus. Sous une traction de 4 g. mm^{-2}, nous avons trouvé des nombres très concordants entre eux et avec les mesures anciennes avec traction forte. Il est donc certain que la température du

point bas correspond à la fusion donnée par la méthode du fil. Nous allons tenir compte dans la moyenne des nombres obtenus pour traction forte. Nous ne pouvons pas interpréter le « point haut », ni donner des renseignements supplémentaires à ce que nous avons publié antérieurement (6).

Comparaison des deux méthodes. — Les mesures antérieures nous ayant fourni la moyenne de 0,28298 A $\pm$ 0,00012 en courant dans la lampe tare, la moyenne corrigée par la série de mesures nouvelles faite sur les tubes spécialement purifiés est :

$$0{,}28297 \text{ A} \pm 0{,}00012.$$

Nous avons indiqué (6) que la précision dans la réalisation du corps noir par cette méthode est meilleure que 0°,3. Toutefois, nous ne pouvons pas tenir compte d'une correction due aux défauts de réalisation du corps noir, car pour cette méthode elle ne peut être admise la même pour tous les tubes.

Pour la méthode du fil nous avons admis la moyenne brute de

$$0{,}28290 \text{ A}$$

que nous avons trouvé légitime de corriger, de sorte que le nombre définitif est

$$0{,}28295 \pm 0{,}000017 \text{ A}.$$

Ainsi nous voyons que les deux méthodes concordent à 0,00002 A près, c'est-à-dire à 0°,1. Cette concordance, de beaucoup inférieure aux erreurs de mesures, est excellente.

Conclusion sur la méthode du tube. — Ainsi la méthode du tube et la méthode du fil, réalisée comme nous l'avons décrit, se sont montrées en très bonne concordance, ce qui prouve que, telle que nous l'avons mise au point, la méthode du tube satisfait parfaitement aux conditions du corps noir et se prête à des mesures très précises au point de fusion du palladium.

V. — Température de fusion du palladium.

Nous n'avons pas effectué de détermination directe de la température de fusion du palladium par réduction de la brillance du corps noir à cette température à celle du corps noir au point de fusion de l'or par un secteur tournant. Nous avons seulement comparé notre pyromètre au pyromètre étalon du Laboratoire de Pyrométrie de la Fondation Edmond de Rothschild (*). Ce dernier pyromètre a été étalonné par comparaison avec un spectropyromètre muni d'un secteur tournant. Cet étalonnage comporte au voisinage du point de fusion du palladium une incertitude sur la connaissance de la température absolue de l'ordre de $\pm$ 0°,3.

La comparaison de notre pyromètre avec le pyromètre étalon a été faite par pointés croisés sur un corps noir, maintenu à température constante. Cette comparaison ne comporte pas d'erreur systématique appréciable. L'erreur accidentelle qui peut s'introduire dans une telle comparaison est de l'ordre de $\pm$ 0°,3. Ainsi la détermination de la température absolue du point de fusion du palladium a pu être faite avec une précision de $\pm$ 0°,5 (erreur d'étalonnage) plus $\pm$ 0°,9 (erreur maximum de mesure), soit en tout $\pm$ 1°,4.

En admettant une moyenne résultant des deux méthodes, celle du fil et celle du tube de 0,28296 A, cette comparaison nous donne :

$$1\,830°\text{K} \qquad (C_2 = 1{,}4320 \text{ cm degré}).$$

(*) Au sujet de l'échelle de température du Laboratoire de Pyrométrie de la Fondation Edmond de Rothschild, une publication sera faite prochainement par M. *J. Mendousse*, aux *Annales de Physique*.

L'échelle de température du Laboratoire de Pyrométrie de la Fondation Edmond de Rothschild n'étant pas encore officiellement achevée nous ne donnons ce nombre qu'à titre provisoire.

Ces recherches ont été effectuées au Laboratoire de Pyrométrie de la Fondation Edmond de Rothschild. Je suis heureux de pouvoir remercier M. le professeur *Ribaud*, Directeur de ce Laboratoire, qui m'a proposé ce sujet, pour les précieuses indications qu'il a bien voulu me donner et pour l'intérêt constant qu'il a porté à mes recherches.

Je tiens également à exprimer ma très vive gratitude au Comité de la Fondation Edmond de Rothschild qui a subventionné ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Day (L.) et Sosman (R.). *J. Phys.*, **2** (1912), 727, 831, 899.

[2] Septième conférence générale des poids et mesures, Paris (1927). Voir le texte de la convention par exemple dans :

Burgess (G.). *Bur. St. J. Research.*, **1** (1928), 635.

[3] Blondel. *L'éclairage électrique*, **8** (1896), 341.

[4] Waidner (C.) et Burgess (G). *Electr. World*, **52** (1908), 625.

[5] Hoffmann (F.) et Meissner (W.). *Ann. der Phys.*, **60** (1919), 201.

[6] Ribaud (G.) et Nikitine (S.). *Ann. de Phys.*, **11** (1929), 451.

[7] Ives (H.). *J. Frankl. Inst.*, **197** (1924), 147, 359.

[8] Nikitine (S.). *Bull. Soc. fr. de Phys.*, **289** (1930), 45.

[9] Ribaud (G.) et Nikitine (S.). *Bull. Soc. franc. de Phys.*, **244** (1927), 45.

[10] Fairchild (C.), Hoover (W.) et Peters (M.). *Bur. St. J. Research.*, **2** (1929), 931.

[11] Schofield (F.). *Proc. Roy. Soc.*, **125** (1929), 517.

[12] Wien (W.) et Lummer (O.). *Pogg. Ann.*, **56** (1895), 451.

[13] Liebmann (G.) *Z. Physik*, **63** (1930), 404.

[14] Fairchild (C.) et Hoover (W.). *J. Opt. Soc. Amer.*, **7** (1923), 543.

[15] Fleury (P.). *Ann. de Phys.*, **5** (1926), 265.

[16] Brodhun (E.) et Hoffmann (F.). *Z. Physik.*, **37** (1926), 265.

[17] Ribaud (G.) et Nikitine (S.). *Ann. de Phys.*, **7** (1927), 5.

[18] Fleury (P.). *C. R.*, **175** (1922), 881.

[19] Heraeus (W.). *Z. f. Electroch.*, **8** (1903), 201.

[20] Ribaud (G.). *Rev. Opt.*, **5** (1926), 295.

[21] Mendousse (J.). *Bull. Soc. fr. Phys.*, **282** (1929), 129.

Ouvrage d'ensemble. G. Ribaud. *Traité de Pyrométrie optique.* Editions de la Revue d'Optique (1931).

TABLE DES MATIÈRES

Pages.

Introduction.

Echelle internationale des températures... 7
Méthode du creuset... 8
Méthode du fil... 8
Méthode du tube... 8

Chapitre Ier. — Discussion de la méthode du fil.

Influence de l'ouverture pratiquée dans l'enceinte isotherme... 9
Défaut d'isothermie radiale sur la paroi visée... 10
Isothermie dans le sens de l'axe du four... 12
Discussion de la réalisation des conditions du corps noir dans une enceinte expérimentale. 12
Relation entre la température de la soudure d'un couple et la température de l'enceinte, dans laquelle il est plongé... 13
Réalisation des hautes températures... 14
Supports réfractaires... 14

Chapitre II. — Réalisation du four.

Principe... 15
Description du four... 15
Alimentation du four... 17
Répartition des températures dans le sens et l'axe du four... 18
Enceinte rayonnante... 18
Remarque sur les réfractaires employés... 19

Chapitre III. — Mesures.

Mesures thermoélectriques... 20
Pureté du métal... 23
Mesures optiques... 23
Variantes... 24
Discussion des mesures... 25
Résultat de la méthode du fil... 25

Chapitre IV. — Comparaison de la méthode du fil avec la méthode du tube.

Rappel des résultats de la méthode du tube... 26
Mesures sur des tubes spécialement purifiés... 26
Comparaison des deux méthodes... 27
Conclusion sur la méthode du tube... 27

Chapitre V. — Température de fusion du palladium.

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

Le Diamagnétisme.

Vu et approuvé :
Strasbourg, le 23 mai 1931.
Le Doyen de la Faculté des Sciences,
Signé : E. Rothé.

Vu et permis d'imprimer :
Strasbourg, le 27 mai 1931.
Le Recteur,
Président du Conseil de l'Université,
Signé : Ch. Pfister.

Paris. — Soc. Gén. d'Imp. et d'Ed., 17, rue Cassette.